



ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی کشاورزی به کمک شاخص‌های ETDI و SPI

*مصطفی یعقوب‌زاده^۱، محسن احمدی^۲، حسام سیدکابلی^۳، غلامرضا زمانی^۴ و مهدی امیرآبادی‌زاده^۱

^۱استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، دانشجوی دکتری گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهیدچمران اهواز،

^۲استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول، ^۳دانشیار گروه علوم و مهندسی زراعت، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/۲

چکیده

سابقه و هدف: به دلیل وابستگی کشاورزی به آب، تعیین شرایط خشکسالی در هر منطقه به منظور برنامه‌ریزی تأمین غذا مهم است. متأسفانه چون تعریف یکسانی از شرایط خشکسالی وجود ندارد؛ شاخص‌های متعددی برای آن ارائه شده است. شاخص بارش استاندارد شده (SPI) یکی از شاخص‌های مهم هواشناسی است که به منظور تعیین خشکسالی‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاخص کمبود تبخیر-تعرق (ETDI) نیز یکی از شاخص‌های مهم است که به منظور استفاده در بخش کشاورزی ارائه شده است. این شاخص در مناطق خشک و نیمه‌خشک کاربرد دارد. با وجود این‌که پژوهش‌های متعددی در خصوص شاخص‌های خشکسالی از جمله SPI وجود دارد، تاکنون مطالعات اندکی فقط در خارج کشور در خصوص کاربرد شاخص ETDI انجام شده است. بنابراین در این پژوهش سعی شد، تعیین خشکسالی با استفاده از شاخص‌های ETDI و SPI در دشت نیشابور به کمک مدل‌های تغییر اقلیم انجام شود.

مواد روش‌ها: این پژوهش به منظور تعیین خشکسالی در دشت نیشابور واقع در عرض جغرافیایی و طول جغرافیایی انجام شد. شاخص ETDI براساس کمبود تبخیر-تعرق هفتگی در این منطقه تعیین شد. به منظور مقایسه نتایج شاخص ETDI نسبت به سایر شاخص‌های خشکسالی، از شاخص SPI که یکی از مهم‌ترین شاخص‌های مورد استفاده در این خصوص است، استفاده شد. داده‌های مورد نیاز این پژوهش از ایستگاه هواشناسی نیشابور در بازه ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۰ (۱۹۹۲ تا ۲۰۱۱) گرفته و برای مزارع آبی (مزارع گندم فاروب و سلیمانی، جو و ذرت) و مزارع دیم (برای گندم دیم) استفاده شد. برای تعیین داده‌های هواشناسی مورد نیاز هر شاخص در مزارع آبی در دوره‌های آتی (۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ و ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹) از مدل‌های ECHOAM، HADCM3 و CGCM3 T47 براساس سناریوهای A2، B1 و A1B استفاده شد. برای مزارع دیم نیز از مدل HADCM3 براساس سناریوهای A2 و B1 استفاده گردید. آماره‌های میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب تبیین (R^2) نیز برای مقایسه نتایج دو شاخص ETDI و SPI مورد استفاده قرار گرفتند.

* مسئول مکاتبه: m.yaghoobzadeh@birjand.ac.ir

یافته‌ها: نتایج نشان داد که شاخص ETDI برای مزرعه فاروب در دوره پایه (۱۹۹۲ تا ۲۰۱۱) در حالت "رطوبت اولیه" قرار داشت در حالی که در دوره‌های آتی (۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ و ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹) در حالت "خشکی" تعیین شد. شاخص ETDI برای مزرعه سلیمانی در دوره پایه در حالت "نرمال" قرار داشت. این شاخص برای مزرعه سلیمانی در دوره‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۹ و ۲۰۸۰ تا ۲۰۹۹ به ترتیب در حالت‌های "نرمال" و "خشکی اولیه" تعیین شد. شاخص ETDI در دوره پایه برای مزارع جو و ذرت به ترتیب در حالت‌های "نرمال" و "خشکی اولیه" قرار داشت. این شاخص برای هر دو مزرعه دو دوره‌های آتی در حالت "نرمال" قرار گرفت. مقدار شاخص ETDI برای گندم در دوره پایه کم‌تر از گندم آبی بود در حالی که عکس این حالت در دوره آتی مشاهده شد. با استفاده از اکثر سناریوهای تغییر اقلیم، شاخص ETDI مقداری منفی داشت. این نشان‌دهنده بروز خشکسالی در دوره‌های آتی به دلیل کمبود تبخیر-تعرق است. نتایج شاخص SPI نشان داد که شاخص خشکسالی در این منطقه در وضعیت "خشکسالی اولیه" بود و در زمان‌های آتی نیز تغییری نیافت.

نتیجه‌گیری: نتایج شاخص‌های ETDI و SPI بسیار با هم تفاوت داشت. علت آن نیز این بود که خشکسالی کشاورزی به کمبود تبخیر-تعرق وابسته است و به همین دلیل شاخص ETDI نتایج بهتری به دست داد. مقایسه نتایج بین این دو شاخص با استفاده از آماره RMSE تفاوت زیادی در دوره‌های آتی نشان داد. علاوه بر این، شاخص ETDI و SPI همبستگی زیادی نسبت به هم (بر اساس آماره R^2) نداشتند. وجود این تفاوت‌ها منطقی است زیرا شاخص SPI از داده‌های بارش و شاخص ETDI از داده‌های تبخیر-تعرق استفاده می‌کنند. براساس نتایج این پژوهش، شاخص SPI به‌عنوان یک شاخص برای تعیین خشکسالی کشاورزی پیشنهاد نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق واقعی، تغییر اقلیم، شاخص کمبود تبخیر و تعرق، شاخص بارش استاندارد شده، مدل SWAP

مقدمه

به شاخص بارش استاندارد شده (SPI) اشاره کرد که با استفاده از مقدار بارش هر منطقه به تعیین خشکسالی می‌پردازد. گرچه به نظر کمبود بارش تعیین‌کننده وضعیت خشکسالی کشاورزی می‌باشد ولی پیشنهاد شده است که تبخیر-تعرق به‌عنوان یکی از شاخص‌های تعیین خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرد (۱۳ و ۱۸). بدین‌منظور شاخصی به نام شاخص کمبود تبخیر-تعرق (ETDI) نیز معرفی شده است که بدین‌منظور مورد استفاده قرار گیرد (۱۸).

به‌منظور تعیین میزان خشکسالی در آینده، می‌توان از اثرات تغییر اقلیم بر شاخص‌های خشکسالی استفاده کرد به‌عنوان مثال لوکاس و همکاران (۲۰۰۸)

کشاورزی به‌علت وابستگی آن به آب معمولاً اولین بخشی است که تحت‌تأثیر پیامدهای خشکسالی قرار می‌گیرد (۱۸)، بنابراین تعیین خشکسالی در آینده کمک شایانی به برنامه‌ریزی برای تأمین منابع غذایی خواهد کرد. متأسفانه در ارتباط با مفهوم خشکسالی تعریف یکسانی وجود نداشته و تعیین میزانی برای این پدیده مشکل است (۳۲). به همین منظور این پدیده در قالب شاخص‌هایی بیان می‌شود تا مفهوم آن ملموس‌تر باشد (۳۳). در این خصوص شاخص‌های متعددی معرفی (۱۲) و پژوهش‌های متعددی روی آن‌ها انجام شده است (۴، ۱۹، ۲۰ و ۳۱). از جمله شاخص‌های پرکاربرد برای تعیین خشکسالی می‌توان

انتشار گازهای گلخانه‌ای (A2, B2) پرداختند. نتایج این پژوهشگران تحت دو سناریوی تغییر اقلیم نشان داد که بارش و متغیرهای حداکثر و حداقل درجه حرارت در سال‌های آینده اندکی افزایش خواهد یافت و مجموع این عوامل سبب افزایش خشکسالی در این منطقه خواهند شد. ادھیکاری و نجات هاشمی (۲۰۱۶) در پژوهشی اثر تغییر اقلیم بر روی تبخیر و تعرق، رواناب سطحی، عملکرد محصول و مقدار رطوبت خاک برای کشور آفریقای مالاوی را با استفاده از شش مدل GCM و سناریو RCP 8.5 برای دهه ۲۰۵۰ میلادی با استفاده از مدل SWAT بررسی کردند (۱). نتایج آن‌ها نشان داد که بارش، تبخیر و تعرق، رواناب سطحی و عملکرد محصول و رطوبت خاک در شمال کشور افزایش خواهد یافت و در جهت جنوب مقادیر آن‌ها کاهش می‌یابد. دستورانی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از مدل HadCM3 (تحت دو سناریوی A1 و B1) و شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI به پیش‌بینی خشکسالی تا سال ۲۰۳۹ در ایستگاه یزد پرداختند (۶). میرزایی و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از شاخص‌های SPI و PON، به بررسی اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی پرداختند (۱۶). نتایج این پژوهشگران نشان داد که در سال‌های اخیر شدت خشکسالی‌ها دارای افزایش قابل توجهی بوده به طوری که بیش‌ترین شدت خشکسالی در دهه ۸۰ شمسی به وقوع پیوسته است. هم‌چنین تداوم خشکسالی نیز افزایش یافته به طوری که تداوم خشکسالی ۵ ساله فقط در ۱۵ سال گذشته وجود داشته است. گل‌محمدی و مساح‌بوانی (۲۰۱۱) اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی را با استفاده از شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) ارزیابی کردند (۱۰). بدین‌منظور از مدل گردش عمومی جو HadCM3

به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شاخص خشکسالی SPI در ناحیه تسالی کشور یونان پرداختند (۱۴). آن‌ها مدل انتشار جهانی CMCM2 را برای دو سناریو A2 و B2 به‌کار بردند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که شاخص خشکسالی SPI بر پایه سناریوی A2 برای همه مناطق مورد مطالعه افزایش یافت. در پژوهشی دیگر، میلاسوکا و همکاران (۲۰۰۸) از دو شاخص خشکسالی دهک بارش و دهک رطوبت خاک برای نشان دادن اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی در استرالیا استفاده کردند (۱۷). آن‌ها به کمک مدل‌های CCCmal و MK2 و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای (A1F1 و B1) برای دوره‌های ۳۰ ساله، خشکسالی را ارزیابی کردند. نتایج ایشان نشان داد که در سال ۲۰۳۰ در سراسر استرالیا خشکسالی ۴۰٪-۲۰٪ نسبت به دوره پایه ۲۰۰۴-۱۹۷۵ افزایش خواهد داشت. هم‌چنین خشکسالی در سال ۲۰۷۰ در سراسر اقیانوس هند و جنوب آن، بیش از ۸۰٪ افزایش خواهد یافت. دوبروسکی و همکاران (۲۰۰۹) دو شاخص خشکسالی Rpsdi و Rspi برای کشور جمهوری چک معرفی کرده و برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم در آینده استفاده نمودند (۸). این دو شاخص به‌ترتیب از واسنجی شاخص‌های PDSI و SPI با داده‌های اندازه‌گیری شده در این منطقه به‌دست آمد. نتایج این پژوهشگران نشان داد که سناریوهای تغییر اقلیم جهانی، افزایش بارش را با استفاده از شاخص SPI و افزایش بارش و درجه حرارت را با استفاده از شاخص PDSI، در آینده برآورد می‌کنند. سیاری و همکاران (۲۰۱۱) از سه شاخص خشکسالی SPI، PNPI و ARI برای بیان شدت و مدت خشکسالی در حوضه کشف‌رود (شمال‌شرقی ایران) استفاده کردند (۲۴). هم‌چنین با استفاده از مدل HadCM3 به ارزیابی حوادث خشکسالی در آینده تحت سناریوهای

عرض جغرافیایی $35^{\circ} 40'$ تا $36^{\circ} 39'$ شمالی واقع در استان خراسان رضوی انجام شد (شکل ۱). این منطقه با وسعت ۷۲۹۳ کیلومترمربع جزیبی از حوضه آبریز کویر مرکزی بوده که ۴۱۰۰ کیلومترمربع آن را دشت (۵۶ درصد) و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. اقلیم منطقه نیمه‌خشک و خشک بوده و متوسط درجه حرارت و بارندگی این دشت به ترتیب ۱۲ درجه سانتی‌گراد و ۲۹۲ میلی‌متر می‌باشد. میزان تبخیر به‌علت بالا بودن درجه حرارت هوا زیاد بوده به‌طوری‌که متوسط این پارامتر برای کل حوضه ۲۳۳۵ میلی‌متر در سال است. در این پژوهش از داده‌های ایستگاه سینوپتیک نیشابور (به دلیل داشتن داده‌های هواشناسی مورد نیاز) برای مزارع آبی و دیم استفاده شد. بر اساس نظر کارشناسان خبره محلی، داده‌های مورد نیاز از ۴ مزرعه واقع در دشت نیشابور، به‌عنوان نماینده کل سطح دشت، برداشت شد. موقعیت این مزارع در شکل ۱ و مشخصات آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

(تحت سناریوی A2) استفاده کرده و نشان دادند که منطقه مورد مطالعه، در سال‌های ۲۰۶۹-۲۰۴۰ میلادی، شاهد افزایش بارش و به تبع آن کاهش شدت خشکسالی خواهد بود.

در ایران از شاخص ETDI نه تنها برای برآورد خشکسالی در آینده بلکه برای پایش خشکسالی نیز پژوهشی صورت نگرفته است و فقط در خارج کشور مطالعات اندکی برای پایش خشکسالی انجام شده است. بنابراین با توجه به این‌که مطالعات بسیار کمی با استفاده از شاخص خشکسالی کشاورزی (ETDI) انجام شده است، هدف از انجام این پژوهش الف) بررسی اثر تغییر اقلیم بر پدیده خشکسالی با استفاده از شاخص ETDI، ب) تعیین خشکسالی در این منطقه با استفاده از شاخص SPI و ج) مقایسه نتایج حاصل از شاخص ETDI با SPI می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: پژوهش حاضر در دشت نیشابور با طول جغرافیایی $58^{\circ} 13'$ تا $59^{\circ} 30'$ شرقی و



شکل ۱- موقعیت منطقه و مزارع مورد مطالعه.

Figure 1. Nishapur plain and locations of farms.

جدول ۱- محصولات مورد پژوهش در مزارع منتخب دشت نیشابور.

Table 1. Farms and Plants in Nishpur Plain.

تاریخ برداشت Harvest Date	تعداد دفعات آبیاری Number of Irrigation	تاریخ کاشت Sowing Date	مزرعه Farm	محصول Plant
۹-تیر-۱۳۸۸ 30-June-2009	8	۱۰-مهر-۱۳۸۷ 1-Oct-2008	فاروب Faroub	گندم Wheat
۱۹-مهر-۱۳۸۸ 11-Oct-2009	5	۲۴-مهر-۱۳۸۷ 15-Oct-2008	سلیمانی Soleymani	گندم Wheat
۲۰-خرداد-۱۳۸۸ 10-June-2009	4	۲۸-مهر-۱۳۸۷ 19-Oct-2008	فیض آباد Feiz Abad	جو Barely
۲۴-مهر-۱۳۸۸ 16-Oct-2009	9	۸-تیر-۱۳۸۷ 28-June-2008	فاروب Faroub	ذرت Corn
۹-تیر-۱۳۸۸ 30-June-2009	0	۱۰-مهر-۱۳۸۷ 1-Oct-2008	حاجی آباد Haji Abad	گندم دیم Rainfed Wheat

ظرفیت زراعی (FC) به عنوان ورودی وارد مدل شد. سپس پارامترهای معادله ون گنوختن شامل رطوبت باقی مانده θ_{res} ، درصد رطوبت اشباع θ_{sat} ، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک K_{sat} (cm.d^{-1}) و ثابت های α (cm^{-1})، λ (-) و n (-) به عنوان خروجی به دست آمد (۳۰).

داده های رطوبت در این مزارع طی سال های ۱۳۸۸-۱۳۸۷ (۲۰۰۹-۲۰۰۸) و ۱۳۹۳-۱۳۹۲ (۲۰۱۴-۲۰۱۳) به ترتیب برای مزارع آبی و دیم برداشت شده بود. در این پژوهش، داده های رطوبت خاک به صورت تصادفی به دو دسته تقسیم شدند. دسته اول، شامل ۷۰ درصد داده ها، به منظور واسنجی پارامترهای ون گنوختن معلم مورد استفاده قرار گرفتند. سپس از داده های دسته دوم، شامل ۳۰ درصد داده ها، به منظور صحت سنجی نتایج استفاده شد. پس از تأیید دقت مدل SWAP، تبخیر- تعرق واقعی برای دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) و دو دوره آبی (۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۲۰-۲۰۹۹) در مزارع آبی و دیم با استفاده از روش فائوپنمن مانیتث تعیین گردید. این دوره های آبی معرف دو دوره آبی نزدیک و دور می باشند.

مدل SWAP: تبخیر- تعرق واقعی برای محصولات مورد مطالعه توسط مدل SWAP 3.0.3 محاسبه شد. در این مدل، شرایط مرزی لایه سطحی خاک با استفاده از تبخیر- تعرق، میزان آب آبیاری و بارش تعیین می شود. حرکت آب در خاک در مدل SWAP براساس معادله ریچاردز (رابطه ۱) صورت می گیرد و برای حل این معادله از روش تفاضلات محدود استفاده می شود (۲۸):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - S(h) \quad (1)$$

که در آن، θ رطوبت حجمی خاک (cm^3/cm^3)، t زمان (hr)، z تغییرات عمق نسبت به سطح زمین (cm)، $K(\theta)$ هدایت هیدرولیکی (cm/h) و h بار هیدرولیکی (cm) می باشد. برخی خصوصیات فیزیکی خاک با استفاده از نمونه برداری از مزارع تعیین شد (جدول ۲).

برای تعیین سایر پارامترهای هیدرولیکی خاک از مدل RETC استفاده شد. بدین منظور، مشخصات هر لایه خاک از جمله بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری (ρ_b (g.cm^{-3})) و درصد رطوبت در نقطه

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک مزارع (۷).

Table 2. Physical properties of farms soil (7).

هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	pH	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت خاک Soil Texture	جرم مخصوص ظاهری Bulk density (g.cm ⁻³)	ظرفیت زراعی (FC, %w)	پژمردگی دائم (PWP, %w)	عمق Depth (cm)	نام مزرعه Farm Name
1.06	8	30	52	18	سیلت لوم SL	1.51	20.1	7.3	0-30	
0.68	8	34	44	22	لوم L	1.57	17.1	6	30-60	فاروب Faroub
0.80	7.6	34	46	20	لوم L	1.78	19.7	7.2	60-90	
10.03	7.6	6	72	22	سیلت لوم SL	1.41	37.5	23.9	0-30	
6.43	7.6	16	68	16	لوم L	1.52	31.3	21.7	30-60	فیض‌آباد Feiz Abad
7.43	7.6	26	58	16	سیلت لوم SL	1.54	39.4	25.5	60-90	
6.96	7.8	28	55	17	سیلت لوم SL	1.72	17	10.1	0-30	
7.50	8.2	22	62	16	سیلت لوم SL	1.70	23	12.4	30-60	سلیمانی Soleymani
8.20	8.3	24	60	16	سیلت لوم SL	1.71	18.2	10.7	60-90	

شاخص ETDI باید تبدیل به ماهانه شوند. نسبت تنش آب در آن با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$WS = \frac{PET - AET}{PET} \quad (2)$$

که در آن، WS نسبت تنش هفتگی آب، PET تبخیر-تعرق پتانسیل هفتگی محصول و AET تبخیر-تعرق واقعی می‌باشد. مقدار نسبت تنش وقتی تبخیر-تعرق وجود نداشته باشد برابر ۱ و وقتی تبخیر-تعرق واقعی برابر تبخیر-تعرق پتانسیل محصول باشد برابر صفر خواهد بود. تبخیر-تعرق برای هر هفته از یک

شاخص کمبود تبخیر-تعرق (ETDI): شاخص کمبود تبخیر-تعرق مشابه با شاخص کمبود رطوبت خاک محاسبه می‌شود با این تفاوت که در آن به جای استفاده از تبخیر و تعرق از نسبت تنش آب استفاده می‌شود. برای انجام مدل احتیاج به تبخیر-تعرق واقعی و تبخیر-تعرق پتانسیل محصول در یک دوره هفت روزه از هفته و برای ۵۲ هفته در سال می‌باشد. تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل با استفاده از مدل SWAP محاسبه شد که قبلاً واسنجی شده بود. اعداد به دست آمده روزانه می‌باشد که برای استفاده در

1- Evapotranspiration Deficit Index

به وسیله متوسط، ماکزیمم و مینیمم نسبت تنش در یک دوره آماری طولانی، درصد انحراف تنش آب برای یک دوره دیگر آماری را می توان به کمک رابطه های ۳ و ۴ محاسبه نمود.

$$WSA_{i,j} = \frac{MWS_j - WS_{i,j}}{MWS_j - \min SW_j} \times 100 \quad \text{if } WS_{i,j} = MWS_j \quad (3)$$

$$WSA_{i,j} = \frac{MWS_j - WS_{i,j}}{\max WS_j - MWS_j} \times 100 \quad \text{if } WS_{i,j} > MWS_j \quad (4)$$

کمک می کند. محاسبه شاخص بارش استاندارد شده برای هر منطقه بر اساس ثبت داده های بارش در بلندمدت برای یک دوره دلخواه استوار می باشد. بنابراین متوسط بارش استاندارد شده برای هر منطقه و برای هر دوره دلخواهی صفر و انحراف معیار آن یک است.

در این پژوهش از داده های بارش ۹ ماهه (حدود طول دوره رشد گندم) ایستگاه سینوپتیک نیشابور به کمک نرم افزار MATLAB استفاده شد. تابع شاخص SPI در رابطه ۶ و طبقه بندی شاخص خشکسالی SPI در جدول ۳ نشان داده شده است (۱۵).

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{s} \quad (6)$$

که در آن، P_i مقدار بارش و P میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر و S انحراف معیار مقادیر بارش است.

سال در طی دوره آماری طولانی با متوسط گرفتن نسبت تنش در طی دوره آماری به دست می آید. همچنین ماکزیمم و مینیمم نسبت تنش نیز مشابه متوسط در یک دوره آماری طولانی به دست می آید.

که در آنها، WSA انحراف تنش آب هفتگی، MWS_j متوسط درازمدت تنش آب برای هفته j ، $\max WS_j$ ماکزیمم درازمدت تنش آب برای هفته j ، $\min WS_j$ مینیمم درازمدت تنش آب برای هفته j ، i تعداد سال های آماری و j تعداد هفته (۵۲-۱ هفته در سال) می باشد.

انحراف نسبت تنش برای هر هفته مشابه درصد کمبود رطوبت خاک از ۱۰۰ تا -۱۰۰ متغیر است. در ۱۰۰ بیشترین تبخیر-تعرق و در -۱۰۰ کمترین تبخیر-تعرق وجود دارد. شاخص کمبود تبخیر-تعرق به کمک رابطه ۵ محاسبه می شود:

$$ETDI_j = 0.5 \times ETDI_{j-1} + \frac{WSA_j}{50} \quad (5)$$

طبقه بندی شاخص کمبود تبخیر-تعرق (ETDI) در جدول ۳ نشان داده شده است (۸).

شاخص بارش استاندارد شده $(SPI)^1$: شاخص بارش استاندارد شده شاخصی است که بر اساس احتمال بارش برای مقیاس های زمانی متفاوت به کار برده می شود. همچنین رخداد شرایط خشکسالی را قبل از وقوع پیش بینی و به تخمین شدت خشکسالی

1- Standardized Precipitation Index

جدول ۳- طبقه‌بندی شاخص خشکسالی کشاورزی (ETDI) و شاخص بارش استاندارد شده (SPI).

Table 3. Category of Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) and Standardized Precipitation Index (SPI).

طبقه‌بندی شاخص SPI Classification of SPI index	طبقه‌بندی شاخص ETDI Classification of ETDI index	دامنه تغییرات Altitude of changes
به شدت مرطوب Extremely wet	به شدت مرطوب Extremely wet	>4
به شدت مرطوب Extremely wet	خیلی مرطوب Very wet	(3,3.99)
به شدت مرطوب Extremely wet	رطوبت متوسط Moderately wet	(2,2.99)
خیلی مرطوب Very wet	رطوبت خفیف Low wet	(1.5,1.99)
رطوبت متوسط Moderately wet	رطوبت خفیف Low wet	(1,1.49)
نرمال Normal	مرطوب اولیه Initial wet	(0.5,0.99)
نرمال Normal	نرمال Normal	(0.49,-0.49)
نرمال Normal	خشکسالی اولیه Initial dry	(-0.5,-0.99)
خشکسالی متوسط Moderately dry	خشکسالی خفیف Low dry	(-1,-1.49)
خشکسالی شدید Severely dry	خشکسالی خفیف Low dry	(-1.5,-1.99)
خشکسالی بسیار شدید Extremely dry	خشکسالی متوسط Moderately dry	(-2,-2.99)
خشکسالی بسیار شدید Extremely dry	خشکسالی شدید Very dry	(-3,-3.99)
خشکسالی بسیار شدید Extremely dry	خشکسالی بسیار شدید Extremely dry	-4<

نمایی و تبدیل داده‌ها از مقیاس بزرگ‌تر و منطقه‌ای و ماهانه به داده‌های مقیاس کوچک و روزانه در این پژوهش از مدل LARS-WG5 استفاده شد (۲۱، ۲۶ و ۲۷). این مدل یکی از مشهورترین مدل‌های آماری در ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل گردش عمومی جو محسوب می‌گردد. این مدل می‌تواند سری‌های زمانی روزانه دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی و

سناریوهای تغییر اقلیم: در این پژوهش، به منظور تعیین داده‌های هواشناسی در دوره‌های آتی، از مدل‌های اقلیمی HADCM3، ECHOAM و CGCM3 T47 تحت سناریوهای انتشار حدی (A2) و (B1) و توازی (A1B) استفاده شد. در مزارع دیم نیز از مدل HADCM3 و سناریوهای انتشار حدی (A2 و B1) استفاده گردید (۲۲). به منظور ریزمقیاس

مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده مساوی باشند؛ برابر صفر و ضریب تعیین در این حالت برابر یک می‌باشد (۷).

نتایج و بحث

اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی: برای این‌که روند تغییرات تبخیر و تعرق واقعی و شاخص خشکسالی مشخص شود ابتدا باید از تغییرات پارامترهایی که تعیین‌کننده تبخیر و تعرق واقعی هستند اطلاع حاصل کرد بدین‌منظور از بین دو دوره آتی، دوره آتی دورتر (۲۰۹۹-۱۹۹۲) که تغییرات نسبت به دوره نزدیک‌تر است انتخاب شد. شکل ۲ مقادیر دمای کمینه، بیشینه، بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل برای دوره آتی ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. این مقادیر برای دو سناریو A2 و B1 بیان شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است در ماه‌های گرم تغییرات مقادیر دمای کمینه و بیشینه نسبت به دوره پایه (Baseline) نسبت به بقیه ماه‌ها بیش‌تر است ولی بارش در ماه‌های سرد سال مانند فوریه و مارس در آینده نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. در ماه‌های گرم سال نیز دوره آتی با دوره پایه تفاوت چندانی در بارش نخواهند داشت. آنچه قابل‌تأمل است که تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه‌های سرد برای هر دو سناریو و دوره پایه تغییر چندانی ندارند و در ماه‌های گرم سال مقادیر تبخیر و تعرق دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. همچنین تغییرات مقادیر اقلیمی نشان می‌دهد سناریو A2 نسبت به B1 و دوره پایه افزایش دما و تبخیر و تعرق و کاهش بارش را نشان می‌دهد و این امر بدبینانه بودن سناریو A2 را آشکارتر می‌سازد (۲۵).

تابش خورشید را تولید کند. برای این منظور از داده‌های روزانه مشاهده شده یک ایستگاه مشخص استفاده می‌کند تا یک مجموعه از پارامترها برای توزیع‌های احتمال متغیرهای هواشناسی و همچنین همبستگی بین آن‌ها تولید کند. این مجموعه از پارامترها برای تولید سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی ساختگی با طول دوره دلخواه استفاده می‌شود (۲۶). بدین‌ترتیب داده‌های مورد نیاز در دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) و دو دوره آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹) و (۲۰۸۰-۲۰۹۹) به‌دست آمد.

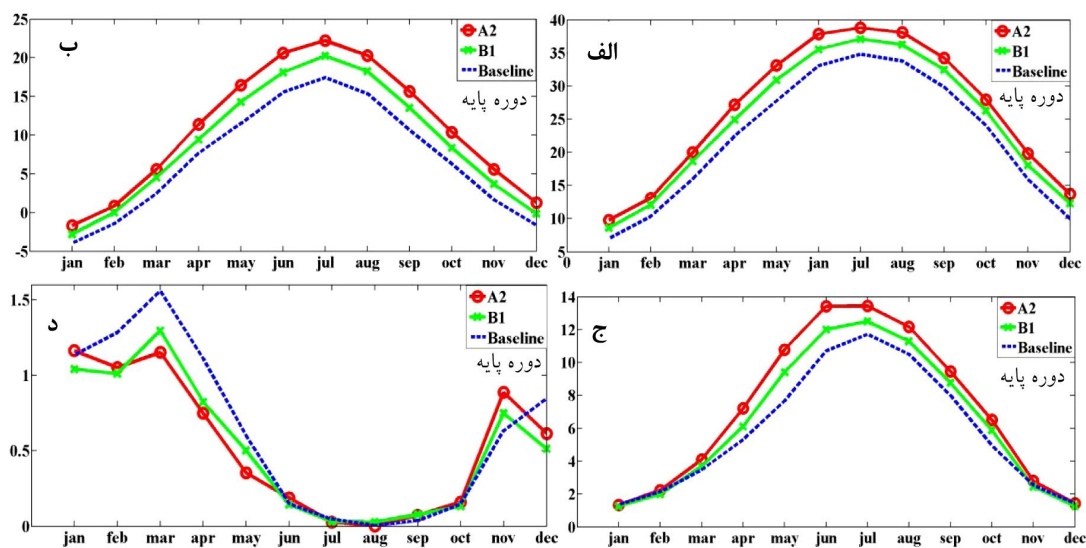
ارزیابی مدل‌ها: به‌منظور ارزیابی و دقت روش‌ها در این پژوهش، سه آماره ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب تعیین (R^2) مورد استفاده قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۷)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (۸)$$

$$R^2 = \frac{(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}))^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (۹)$$

که در آن‌ها و در حالت کلی، P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد نمونه‌های به‌کار رفته، \bar{P} میانگین مقادیر پیش‌بینی شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است. به‌دلیل مقایسه آماری دو شاخص ETDI و SPI در این پژوهش، مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده به‌ترتیب مقادیر حاصل از شاخص ETDI و SPI می‌باشند. مقادیر جذر میانگین مربعات خطا، میانگین خطای مطلق و تفاضل مطلق در حالت بهینه یا حالتی که



شکل ۲- تغییرات ماهانه دمای کمینه (الف)، دمای بیشینه (ب)، بارش (ج) و تبخیر و تعرق پتانسیل (د) در دوره آتی نسبت به دوره پایه.

Figure 2. Month changes of minimum temperature (A), maximum temperature (B), perception (C) and reference evapotranspiration (D) in future period than baseline.

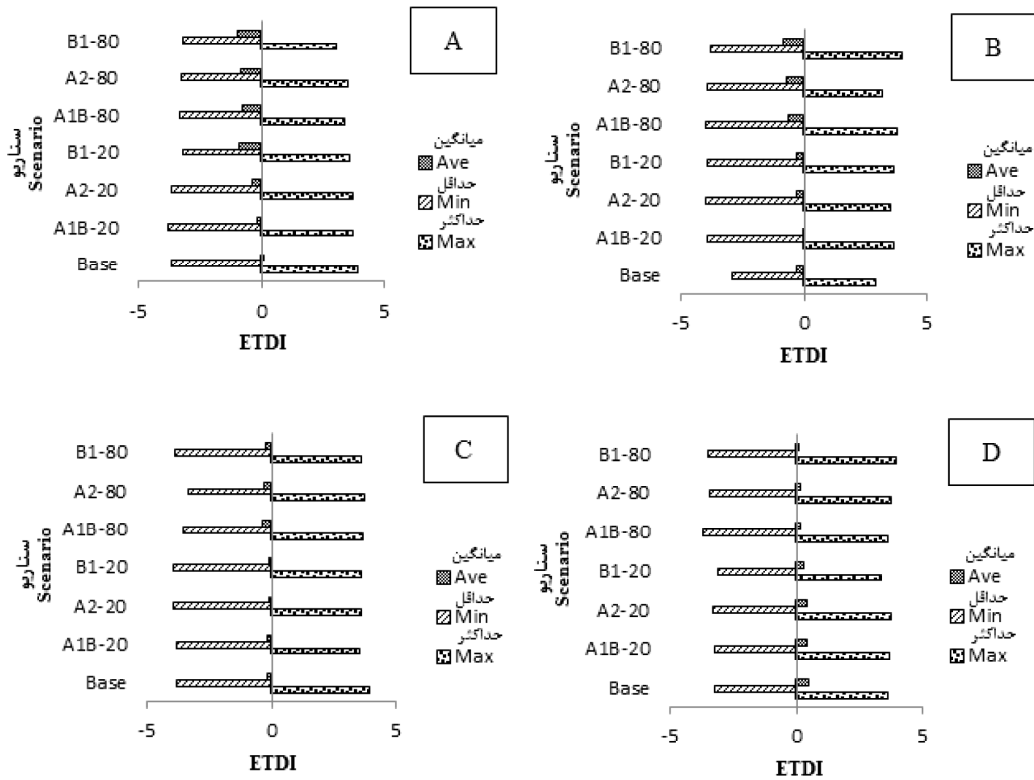
را نشان داد. البته مقادیر شاخص ETDI برای گندم و جو در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. همچنین مشاهده شد که برای همه محصولات، مقدار ETDI در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ از مقادیر کم‌تری برخوردار خواهد بود که نشان‌دهنده افزایش خشکسالی است. میانگین شاخص ETDI در دوره‌های آتی برای گندم دیم در مقایسه با گندم مزارع آبی افزایش را نشان داد (شکل ۴). افزایش شدت خشکسالی در مناطق دیم به دلیل افزایش تبخیر و تعرق بوده که این افزایش تبخیر و تعرق در اثر بالارفتن دما و کاهش بارش در دوره آتی می‌باشد که این امر بر روی گیاهان مزارع دیم بیش‌تر اثر می‌گذارد. گیاهان مناطق دیم در مواجهه با گرما، آب زیادی در اثر تعرق از دست می‌دهند که به دلیل عدم آبیاری قابل جبران نیز نیست. همچنین این وجود، در بیشتر سناریوها در دوره‌های آتی، شاخص ETDI در طی مراحل رشد گندم دیم مقداری منفی را نشان داد به طوری که این مقادیر در محدوده محدوده خشکسالی شدید و نزدیک

اثر تغییر اقلیم بر خشکسالی کشاورزی: نتایج نشان داد که متوسط شاخص ETDI برای محصول گندم فاروب در دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) در وضعیت مرطوب اولیه قرار داشت (شکل ۳). مقدار این شاخص برای گندم فاروب در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و بر اساس دو سناریوی A2 و A1B نیز در حالت نرمال تعیین شد ولی ETDI در همین دوره و بر اساس سناریوی B1 در حالت خشکسالی اولیه قرار خواهد داشت. میانگین شاخص ETDI در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بیانگر وضعیت خشکسالی خفیف دارد. شاخص ETDI برای محصول گندم سلیمانی در دوره پایه در وضعیت نرمال قرار داشت.

همچنین متوسط این شاخص برای دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ به ترتیب در وضعیت نرمال و خشکسالی اولیه تعیین شد. مقادیر شاخص ETDI برای محصول ذرت در دوره پایه در وضعیت مرطوب اولیه و در دوره‌های آتی در وضعیت نرمال به دست آمد. با این وجود شاخص ETDI برای محصول جو در دوره‌های پایه و آتی وضعیت نرمال

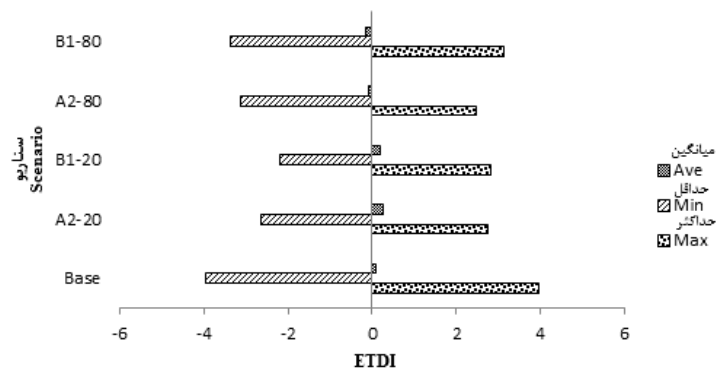
دوره‌های آبی است که سبب صدمه به این محصول خواهد شد.

به خشکسالی بسیار شدید بود. این نتایج بیانگر وقوع خشکسالی ناشی از کمبود تبخیر- تعرق در



شکل ۳- میانگین، حدافل و حداکثر شاخص ETDI برای گندم فاروب (A)، گندم سلیمانی (B)، جو (C) و ذرت (D) در دوره‌های پایه و آبی.

Figure 3. Average, Minimum and Maximum of ETDI index for Faroub wheat (A), Soleymani wheat (B), barley (C) and corn (D) during base and future periods.



شکل ۴- میانگین، حدافل و حداکثر شاخص ETDI برای گندم دیم در دوره‌های پایه و آبی.

Figure 4. Average, Minimum and Maximum of ETDI index for rainfed wheat during base and future periods.

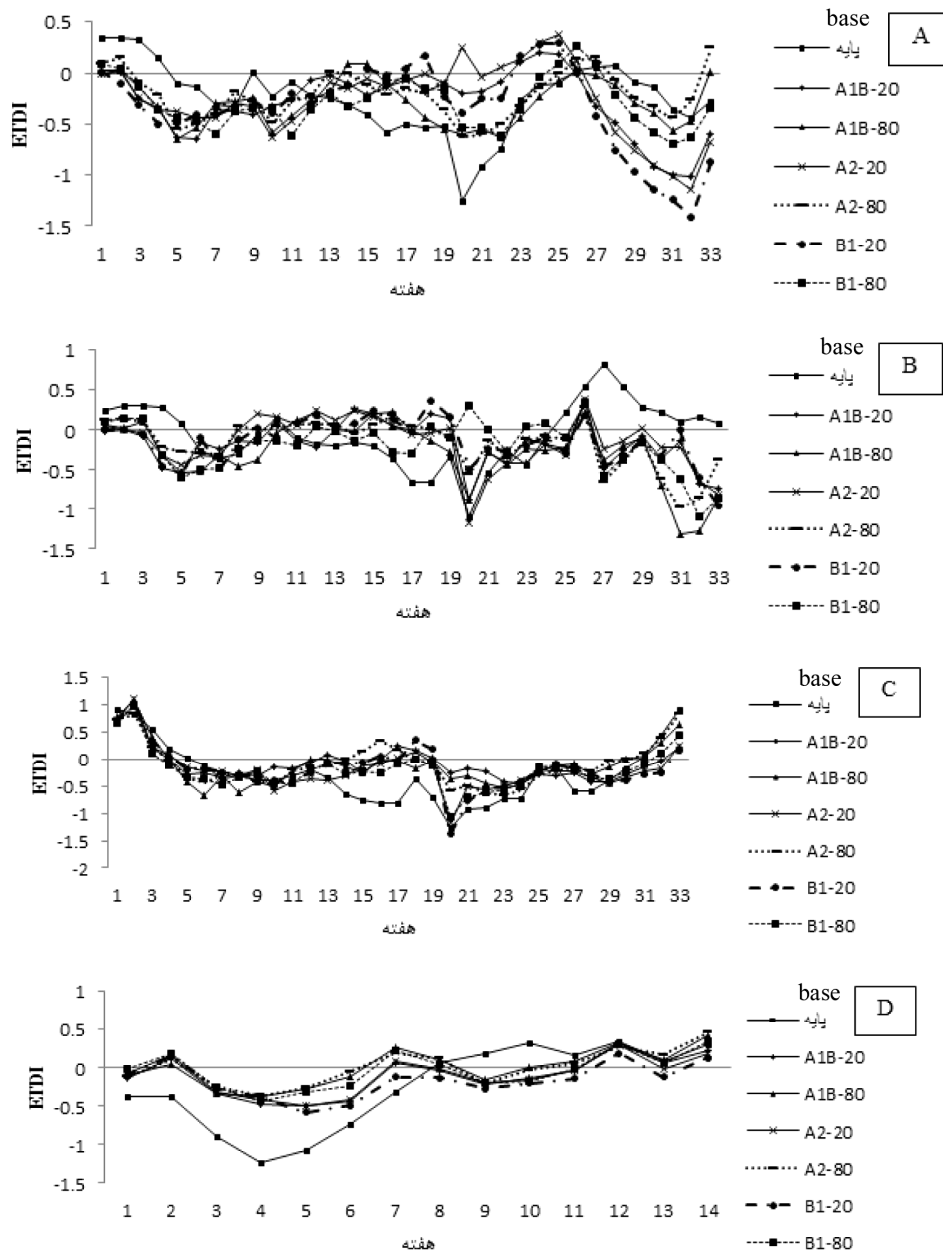
داشت به ترتیب به ۵ و ۴ هفته افزایش خواهد یافت. البته وجود وضعیت نرمال ($ETDI < 0/45$) تا $-0/45$) نیز نمی‌تواند نشان‌دهنده مطلوب بودن وضعیت تبخیر- تعرق برای این محصول باشد به طوری که در ۱۱ هفته شاخص ETDI کم‌تر از صفر به دست آمد. این وضعیت در سناریوهای تغییر اقلیم نیز مشاهده شد و به طور میانگین در ۱۳ هفته شاخص ETDI کم‌تر از صفر تعیین شد. بحرانی بودن خشکسالی برای جو و گندم مزرعه سلیمانی به دلیل مدیریت نادرست آبیاری در دوره پایه بوده که اگر قرار باشد بر اساس همین روند دوره پایه برای دوره آتی، آبیاری صورت گیرد گیاه در زمان‌های زیادی از طول دوره رشد با کمبود رطوبت و ایجاد تنش خشکی روبرو خواهد شد که صدمات زیادی به گیاه وارد خواهد کرد. این امر یعنی ایجاد تنش خشکی در گندم مزرعه فاروب به دلیل وضعیت آبیاری مناسب‌تر نسبت به دو محصول دیگر پاییزه (گندم مزرعه سلیمانی و جو) در آینده کم‌تر به وقوع خواهد پیوست. در مورد ذرت به دلیل کشت تابستانه نیز افزایش دما و تبخیر و تعرق سبب شده است در هفته‌های اول رشد، گیاه با تنش خشکی روبرو شود که بر عملکرد گیاه در انتهای فصل رشد اثر خواهد گذاشت.

نتایج به دست آمده برای مقادیر شاخص SPI برای دوره پایه و دوره‌های آتی در طی دوره نهمه‌ماه رشد گندم در شکل ۷ نشان داده شده است. در دوره پایه، حداکثر مقدار به دست آمده برای این شاخص برابر $0/612$ تعیین شد که بر اساس جدول ۴ در محدوده نرمال قرار داشت. مقادیر میانگین شاخص SPI در همین دوره‌ها نیز نشان داد که این منطقه در وضعیت خشکسالی خفیف قرار دارد. البته حداقل این شاخص کم‌تر از ۲- تعیین شد که نشان‌دهنده خشکسالی بسیار شدید در برخی ماه‌های سال است. نتایج محاسبه مقادیر شاخص SPI برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ نسبت به دوره پایه نشان داد که در هر دو سناریوی A2 و B1، بیشینه شاخص SPI کاهش خواهد یافت.

در دوره ۲۰۱۱-۱۹۹۲، مقادیر ETDI برای گندم سلیمانی از هفته ۱۶م تا ۲۲م در حالت خشکسالی اولیه قرار داشت (شکل ۵). وضعیت خشکسالی اولیه برای گندم فاروب در هفته‌های ۱۷، ۱۸، ۲۰ و ۲۱ مشاهده شد. تعداد هفته‌هایی که محصول جو در حالت خشکسالی اولیه قرار داشت بسیار بیش‌تر از دو محصول گندم سلیمانی و فاروب بود به طوری که در اکثر هفته‌ها این محصول با تنش همراه بود. برای محصول ذرت نیز از هفته ۳ تا ۶م این وضعیت مشاهده شد. بر اساس سناریوهای آتی، گندم سلیمانی در اکثر هفته‌ها در وضعیت خشکسالی قرار خواهد داشت به طوری که در برخی موارد خشکسالی خفیف نیز در مراحل رشد مشاهده شد. بر اساس نتایج به دست آمده، در سال‌های آتی (۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) وضعیت خشکی برای این محصول حتی در هفته‌های پایانی نیز مشاهده خواهد شد. نتایج به دست آمده برای محصول گندم فاروب، مشابه گندم سلیمانی است به طوری که برای این محصول نیز شاهد افزایش وضعیت خشکسالی و بروز آن در هفته‌های پایانی خواهیم بود. برای محصول جو، سناریوهای تغییر اقلیم نشان دادند که در دوره‌های آتی تعداد هفته‌های خشک از ۱۲ هفته (در دوره پایه) به ۱۸ هفته افزایش خواهد داشت. وقوع خشکی در هفته‌های ۱۲-۵ و ۱۵-۲۵ در اکثر سناریوها، نشان‌دهنده تنش خشکی به این محصول در دهه‌های آتی خواهد بود. تعداد هفته‌های خشک برای محصول ذرت در دوره‌های آتی و پایه مشابه بود. این محصول در اکثر سناریوها از هفته ۳م تا ۶م دچار وضعیت خشکی بود و در هیچ سناریویی وضعیت خشکسالی از هفته ۱۰م به بعد مشاهده نشد. محصول گندم دیم نیز در طی ۱۹ هفته دوره رشد در دوره پایه، دو هفته در وضعیت خشکسالی اولیه قرار داشت (شکل ۶). بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم، در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ تعداد هفته‌هایی که این محصول در وضعیت خشکسالی اولیه قرار خواهد

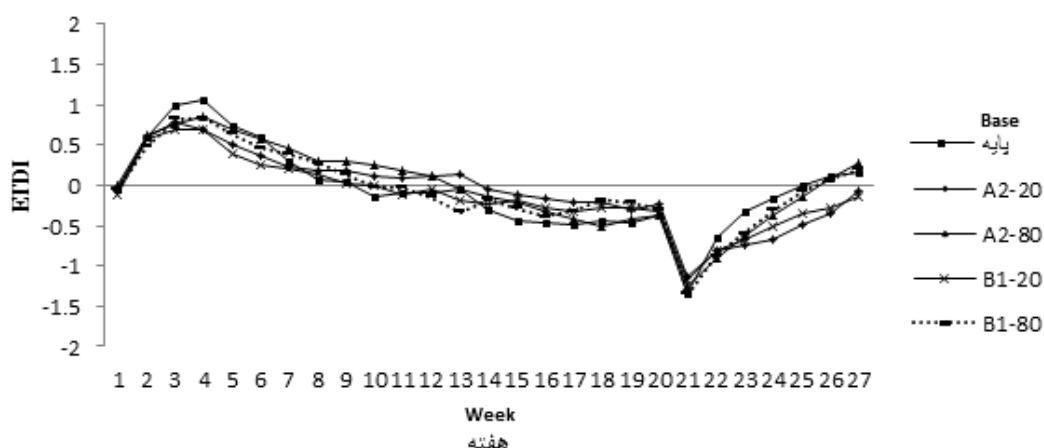
نسبت به دوره پایه بیشینه شاخص SPI نیز کاهش نشان می‌دهد. همچنین نتایج نشان داد مقادیر میانگین شاخص SPI برای دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بر خلاف دوره آتی نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۳۹) در سناریو A2 افزایش و برای سناریو B1 کاهش می‌یابد.

با این وجود، حداقل مقدار شاخص SPI در هر دو سناریو نسبت به دوره پایه افزایش نشان داد. همچنین مقادیر میانگین شاخص SPI در سناریو A2 کاهش و در سناریو B1 افزایش خواهد یافت. در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ برای هر دو سناریوی A2 و B1



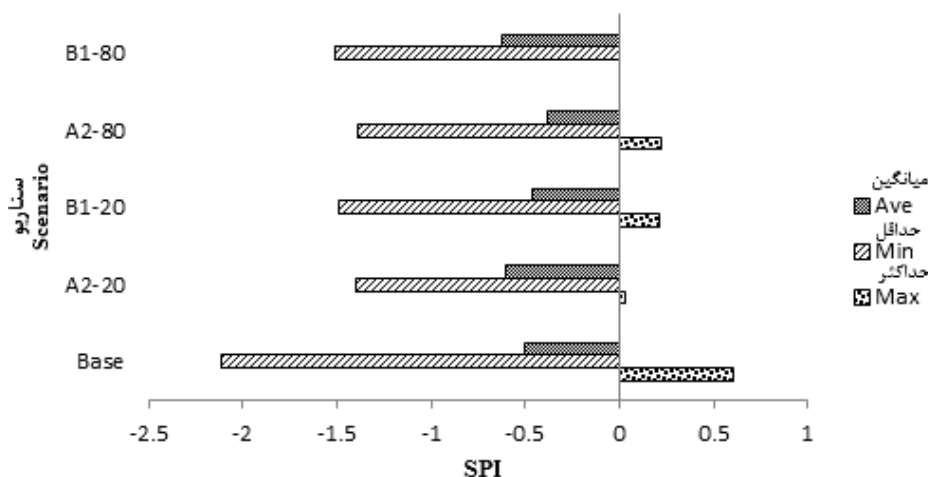
شکل ۵- تغییرات شاخص ETDI در طی دوره رشد گندم سلیمانی (A)، گندم فاروب (B)، جو (C) و ذرت (D) برای دوره‌های پایه و آتی.

Figure 5. Growing season changes of ETDI for Faroub wheat (A), Soleymani wheat (B), barely (C) and corn (D) during base and future periods.



شکل ۶- تغییرات شاخص ETDI در طی دوره رشد گندم دیم برای دوره‌های پایه و آتی.

Figure 6. Growing season changes of ETDI for rainfed wheat during base and future periods.



شکل ۷- مقادیر شاخص SPI در دوره‌های پایه و آتی.

Figure 7. SPI values during base and future periods.

برای دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نیز آماره MAE برای سناریوهای A2 و B1 به ترتیب برابر ۹۲ درصد کاهش و ۱۲۹ درصد افزایش داشت. آماره RMSE نیز در دو سناریوی A2 و B1 به ترتیب ۱۰/۹ درصد کاهش و ۲/۳ افزایش نشان داد. مقادیر به دست آمده توسط شاخص‌های MAE و RMSE در دوره‌های آتی نشان‌دهنده تفاوت قابل توجهی بین دو شاخص SPI و EDTI بود.

مقایسه شاخص خشکسالی ETDI با شاخص SPI در جدول ۴ نشان داده شده است. در دوره پایه مقدار آماره‌های MAE و RMSE به ترتیب برابر ۱/۱۱ و ۲/۵۵ تعیین شد. این مقادیر نشان‌دهنده تفاوت قابل توجهی بین دو شاخص مورد استفاده بود. مقدار آماره MAE در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و در سناریوهای A2 و B1 به ترتیب ۰/۸ افزایش و ۳۱/۵ درصد کاهش داشت. آماره RMSE در سناریوهای A2 و B1 به ترتیب ۱۰ و ۳/۵ درصد کاهش داشت.

را گزارش کرد (۹). از طرفی تبخیر- تعرق به عوامل مختلفی بستگی دارد (۲، ۳ و ۲۹) و در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نقش دما بر تبخیر- تعرق مؤثرتر از بارش می‌باشد (۲، ۱۱ و ۲۳). بنابراین شاخص SPI که فقط مبتنی بر بارش است و عواملی مانند نیاز آبی گیاهان را در نظر نمی‌گیرد (۱۸)؛ نمی‌تواند شاخص خوبی در حوزه کشاورزی به منظور تعیین اثر خشکسالی بر تبخیر- تعرق گیاهان باشد. بنابراین کاربرد شاخص مبتنی بر نیاز آبی گیاهان، ETDI، جهت بررسی اثر خشکسالی بر محصولات کشاورزی، معیار مناسب‌تری نسبت به شاخص‌های هواشناسی به نظر می‌رسد (۵).

با توجه به این که شاخص SPI تنها براساس مقدار بارش به تعیین خشکسالی می‌پردازد (۱۵)؛ تفاوت به دست آمده منطقی به نظر می‌رسد. البته مقدار آماره R^2 نیز در دوره‌های پایه و آتی بسیار پایین بود. بنابراین تغییرات این دو شاخص تبعیت کمی از یکدیگر دارند. نارسمهان و سرینواسان (۲۰۰۵) با مقایسه شاخص‌های SPI و ETDI، ضریب تبیین ۰/۴۷ و ۰/۶۴ را برای سناریوهای A2 و B1 گزارش کردند (۱۸). ادن (۲۰۱۲) نیز در پژوهشی شاخص ETDI به دست آمده از مدل سنجش از دور SEBS را با شاخص SPI مقایسه نموده و ضریب تبیین ۰/۳۳

جدول ۴- مقادیر آماری مقایسه دو شاخص ETDI و SPI.

Table 5. Statistical criteria for comparison of ETDI and SPI.

R^2	RMSE	MAE	سناریوی انتشار Emission scenarios	دوره Period
0.31	2.55	1.11	-	1992-2011
0.34	2.29	1.12	A2	2020-2039
0.31	2.46	0.76	B1	
0.32	2.27	1.04	A2	2080-2099
0.47	2.61	1.45	B1	

داشت. همچنین متوسط این شاخص برای دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ به ترتیب در وضعیت نرمال و خشکسالی اولیه تعیین شد. مقادیر شاخص ETDI برای محصول ذرت در دوره پایه در وضعیت مرطوب اولیه و در دوره‌های آتی در وضعیت نرمال به دست آمد. با این وجود شاخص ETDI برای محصول جو در دوره‌های پایه و آتی وضعیت نرمال را نشان داد. نتایج به دست آمده برای شاخص SPI نشان داد که این منطقه در وضعیت خشکسالی خفیف قرار دارد. مقادیر میانگین شاخص SPI در دوره

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که متوسط شاخص ETDI برای محصول گندم فاروب در دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) در وضعیت مرطوب اولیه قرار داشت ولی در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و بر اساس دو سناریوی A1B و A2 در حالت نرمال و بر اساس سناریوی B1 در حالت خشکسالی اولیه قرار خواهد داشت. میانگین شاخص ETDI در دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بیانگر وضعیت خشکسالی خفیف بود. شاخص ETDI برای محصول گندم سلیمانی در دوره پایه در وضعیت نرمال قرار

شاخص خشکسالی ETDI با شاخص SPI نشان داد که تفاوت قابل توجهی بین دو شاخص وجود دارد. بنابراین با توجه به ماهیت شاخص ETDI، استفاده از آن برای تعیین خشکسالی کشاورزی پیشنهاد می‌شود و به نظر نمی‌رسد نتایج SPI برای تعیین وضعیت خشکسالی کشاورزی در این دشت قابل قبول باشد.

برای سناریوهای A2 و B1 به ترتیب ۱۸ درصد کاهش و ۹ درصد افزایش نسبت به دوره پایه نشان داد. این در حالی است که مقادیر میانگین شاخص SPI برای دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه در سناریوهای A2 و B1 به ترتیب ۲۳ درصد افزایش و ۲۴ درصد کاهش خواهد یافت. مقایسه

منابع

1. Adhikari, U., and Nejadhashemi, A.P. 2016. Impacts of Climate Change on Water Resources in Malawi. *J. Hydr. Engin.* 21: 11. 1084-0699.
2. Ahmadede, M., and Khashei Siuki, A. 2016. Comparison of the Different Equations to Determine the Saffron Water Requirement (Case study: Birjand plain, Iran). *Agroecology*. 8: 4. In press. (In Persian)
3. Allen, R.G., Jensen, M.E., Wright, J.L., and Burman, R.D. 1987. Operational Estimates of Reference Evapotranspiration. *Agron. J.* 81: 4. 650-662.
4. Barker, I.J., Hannaford, J., Chiverton, A., and Svensson, C. 2015. From meteorological to hydrological drought using standardised indicators. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 12: 12. 12827-12875.
5. Daniel, C.A., and Eugenia, S.O. 2012. Modeling the distribution of agricultural drought by means of soil water deficit. *Energy and Environmental Research*. 2: 2. 1-12.
6. Dastoorani, M.T., Pourmohammadi, S., Massah Bavani, A., and Rahimian, M.H. 2011. Estimating Drought under climate change during next three decade by using General circulation models (Case study: Yazd station). 4th Iran Water Resources Management Conference, Amirkabir University of Technology, Tehran. (In Persian)
7. Dehghan, H., Alizadeh, A., and Haghayeghi, S.A. 2011. Water balance components estimating in farm scale using simulation model SWAP. *J. Water Soil*. 24: 6. 1265-1275. (In Persian)
8. Dubrovsky, M., Svoboda, M.D., Trnka, M., Hayes, M.J., Wilhite, D.A., Zalud, Z., and Hlavinka, P. 2009. Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia. *Theoretical and Applied Climatology*. 96: 155-171.
9. Eden, U. 2012. Drought assessment by evapotranspiration mapping in Twente, the Netherlands. MSc thesis, University of Twente, 79p.
10. Golmohammadi, M., and Massah Bavani, A. 2011. The perusal of climate change impacts on drought intensity and duration. *J. Water Soil*. 25: 2. 315-326. (In Persian)
11. Hargreaves, G.H. 1994. Defining and Using Reference Evapotranspiration. *Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE. 120: 6. 1132-1139.
12. Heim, J. 2002. A Review of Twentieth-century Drought Indices Used in the United States. *Bulletin of American Meteorological Society*. 83: 8. 1149-1165.
13. Hou, Z., Dai, X., Feng, Sh., Kang, Sh., and Huang, G. 2013. Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China. *J. Hydrol.* 492: 24-34.
14. Loukas, A., Vasiliades, L., and Tzabiras, J. 2008. Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences*. 17: 23-29.
15. McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Preprints. 9th Conference on Applied Climatology, Dallas, TX, Pp: 233-236.
16. Mirzaie, M., Sohrabi, R.A., and Arab, D.R. 2011. Evaluation of climate change impacts on drought characteristics in Kermanshah Province, 1st National Conference on Agrometeorology and Agricultural Water Management, Tehran. (In Persian)

17. Mpelasoka, A.F., Hennessy, K., Jones, B.R., and Batesa, B. 2008. Comparison of suitable drought indices for climate change impacts assessment over Australia towards resource management. *Inter. J. Climatol.* 28: 1283-1292.
18. Narasimhan, B., and Srinivasan, R. 2005. Development and evaluation of soil moisture deficit index (SMDI) and evapotranspiration deficit index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology.* 133: 69-88.
19. Peters, E., Bier, G., Van Lanen, H.A.J., and Torfs, P.J.J.F. 2006. Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment. *J. Hydrol.* 321: 1. 257-275.
20. Peters, E., Torfs, H.A.J., Van Lanen, H.A.J., and Bier, G. 2003. Propagation of drought through groundwater – a new approach using linear reservoir theory. *Hydrological Processes.* 17: 15. 3023-3040.
21. Racsko, P., Szeidl, L., and Semenov, M. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modeling.* 57: 27-41.
22. Randall, D.A., Wood, R.A., Bony, S., Colman, R., Fichefet, T., Fyfe, J., Kattsov, V., Pitman, A., Shukla, J., Srinivasan, J., Stouffer, R.J., Sumi, A., and Taylor, K.E. 2007. Climate Models and Their Evaluation. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
23. Salih, A.M.A., and Sendil, U. 1984. Evapotranspiration under Extremely Arid Climates. *Irrigation and Drainage Engineering, ASCE.* 110: 3. 289-303.
24. Sayari, N., Alizadeh, A., Bannayan Awal, M., Farid Hossaini, A., and Hesami Kermani, M.R. 2011. Comparison of two GCM models (HadCM3 and CGCM2) for the prediction of climate parameters and crop water use under climate change (Case study: Kashafrood basin). *J. Water Soil.* 25: 4. 912-925.
25. Sayari, N., Bannayan, M., Alizadeh, A., and Farid, A. 2013. Using drought indices to assess climate change impacts on drought conditions in the northeast of Iran (Case study: Kashafrood basin). *Meteorological Applications.* 20: 115-127. (In Persian)
26. Semenov, M.A., and Barrow, E.M. 2002. LARS-WG: a stochastic weather generator for use in climate impact studies (Version 3.0). User Manual.
27. Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., and Richardson, C.W. 1997. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research.* 10: 95-107.
28. Shahidi, A., and Ahmadede, M. 2014. Visual learning of SWAP software, Kelk Zarrin, Tehran, 168p. (In Persian)
29. Sheikholeslami, N., Ghahraman, B., Mosaedi, A., Davary, K., and Mohejerpour, M. 2014. Estimating reference evapotranspiration by using principal component analysis (PCA) and the development of a regression model (MLR-PCA) (Case study: Mashhad station). *J. Water Soil.* 28: 2. 420-429. (In Persian)
30. Van Genuchten, M., and Yates, S.R. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. US Environmental Protection Agency, 85p.
31. Van Loon, A.F., and Laaha, G. 2015. Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *J. Hydrol.* 526: 3-14.
32. Wilhite, D.A. 1992. Planning for drought: a guidebook for developing countries. Climate Unit, UN. Environment Program, Nairobi, Kenya.
33. Wilhite, D.A. 1996. A methodology for drought preparedness. *Natural Hazards.* 13: 229-252.



The evaluation of effect of climate change on agricultural drought using ETDI and SPI indexes

***M. Yaghoobzadeh¹, M. Ahmadi², H. Seyyed Kaboli³, Gh.R. Zamani⁴
and M. Amirabadizadeh¹**

¹Assistant Prof., Dept. of Science and Water Engineering, University of Birjand,

²Ph.D. Student, Dept. of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz,

³Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, Jondishapur University of Technology, Dezful,

⁴Associate Prof., Dept. of Science and Agronomy Engineering, University of Birjand

Received: 11/16/2016; Accepted: 09/24/2017

Abstract

Background and Objectives: Due to absolute dependence of agriculture on water, determine of drought condition in each region is very useful in planning the food sourcing. Unfortunately, there is no same definition about the “drought condition”, so there are some indexes to determine it. Standardized Precipitation Index (SPI) is one the meteorological indexes, which widely used to determine agricultural drought conditions. Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) was also designed for this purpose. This index is used to determine agricultural drought conditions in arid and semi-arid region. Although there were most research about other drought indexes such as SPI, but there is few studies in oversea countries about use of ETDI index. Thus in this study tried to determine drought by ETDI and SPI indexes in Neyshabur plain by used of climate change models.

Materials and Methods: This research was conducted to determine drought condition in Neyshabur plain located at longitude between 58° 13'-59° 30' N and latitude between 35° 40'-36° 39' E, Iran. Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) was developed based on weekly evapotranspiration deficit to determine drought condition in this region. In order to comparison of the ETDI results to other drought indices, we used Standardized Precipitation Index (SPI) as one the most common drought index. The data were collected from Neyshabur meteorological station for irrigated farms (wheat in Soleymani and Faroub farms, barley and corn) and rain-fed farms (rain-fed wheat) during 1992-2011. In order to estimate weather data for each index in the irrigated farms during two future periods (2020-2039 and 2080-2099), HADCM3, ECHOAM and CGCM3 T47 models were used based on A2, B1 and A1B scenarios and the climate model that has been used in rain-fed farm is the HADCM3 based on A2 and B1 scenarios. Root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE) and coefficient of determination (R^2) were used to comparison of the ETDI and SPI results.

Results: Results showed that average ETDI were in initial wet condition for Faroub farm during base period (1992-2011) while it will be in drought condition during future periods (2020-2039 and 2080-2099). ETDI index was in normal condition for Soleymani farm during base period. Average ETDI indexes for these farms were in normal and initial dry condition during 2020-2039 and 2080-2099 periods, respectively. For barley and corn, ETDI indexes were in normal and initial dry condition during base period, respectively. This index was in normal statute for both of them during future periods. The ETDI value for rain-fed wheat was less compared to irrigated wheat during base period, although, this index will be increased during

* Corresponding Author; Email: m.yaghoobzadeh@birjand.ac.ir

future periods. In most of scenarios, ETDI indexes showed negative values. It means that high drought condition will be happened during future periods due to deficit evapotranspiration. Results according to SPI index revealed that this region was in moderately drought condition and this situation will not change.

Conclusion: High differences were obtained between ETDI and SPI results. Since agricultural drought depends on evapotranspiration deficits, ETDI is better index compared to SPI. The value of RMSE revealed poor adaptation between two indexes during future periods. In addition, ETDI were not correlated with SPI for all the scenarios in all scenarios. These differences are reasonable because SPI index only uses precipitation data and ETDI uses evapotranspiration. According to the results, it seems that SPI cannot be suggested as a good index in agricultural studies.

Keywords: Climate change, Evapotranspiration deficit index, Real evapotranspiration, Standardized precipitation index, SWAP model

Arci